



## “a energia solar **fotovoltaica** representa uma das fileiras das energias **renováveis** mais **relevantes** para Portugal”

A afirmação das energias renováveis, nomeadamente a fotovoltaica, como uma alternativa energética válida num futuro sustentável foi o mote para o lançamento da obra “*Sistemas Fotovoltaicos – Fundamentos sobre Dimensionamento*”.

A “renováveis magazine” falou com os autores deste título, Joaquim Carneiro, professor e investigador do Departamento de Física da Universidade do Minho, e Mário Passos, autarca e professor convidado da CESPU (Cooperativa de Ensino Superior Politécnico e Universitário), por forma a conhecer um pouco mais sobre desta temática.

por **Marta Caeiro**

**renováveis magazine (rm):** Os vossos percursos profissionais têm seguido por rumos divergentes, mas ambos bastante notórios. Como é que acontece o percurso da engenharia e da física e química até esta área dos fotovoltaicos?

**Autores (A):** Sim, é facto. Na verdade, nos primeiros anos da década de 90, os nossos percursos profissionais até foram bastante semelhantes já que ambos iniciamos a carreira académica como assistentes estagiários na Universidade do Minho. A diferença residia na circunstância de um de nós, o Joaquim Carneiro, ter ficado adstrito ao Departamento de Física enquanto que o outro, o Mário Passos, ter ficado associado ao Departamento de Química. Esta diferença conduziu a diferentes trajetórias de investigação científica. Para o caso do Joaquim Carneiro, o rumo evolui para a área da engenharia tendo assim constituído uma ferramenta muito importante de interface para a física aplicada. Para o Mário Passos, o caminho traçado progrediu para a área da química aplicada à física. Com efeito, reportando-nos ao final da década de 90, havia na comunidade académica e científica a noção clara de que era muito importante desenvolver novos conceitos de geração de energia que não passassem pela utilização tradicional dos sistemas baseados nos combustíveis fósseis. Nessa época, a energia gerada por células fotovoltaicas não só cumpria esse desígnio mas também associava um forte conteúdo científico (já que

estão envolvidos fenómenos físicos e químicos complexos que era necessário compreender e estudar) para além de poder vir a constituir (o que aliás aconteceu) uma das fileiras renováveis com uma forte expressão no âmbito do atual *mix* energético renovável em Portugal, estratégia absolutamente crucial para o desenvolvimento económico do país e concomitantemente na materialização de uma sensibilidade ambiental coletiva. Neste sentido, a circunstância de há cerca de 30 anos estarmos envolvidos em projetos de investigação científica, também, relacionados com a área da energia e na lecionação de unidades curriculares com afinidades a esta temática, permitiu-nos desenvolver e adquirir de forma consistente um conjunto de competências científicas e pedagógicas que nos habilitou a publicar artigos científicos e a escrever diversos trabalhos relacionados com algumas fileiras das energias renováveis, como por exemplo a energia fotovoltaica e também a eólica.

**rm:** De onde nasce a ideia do lançamento desta obra?

**A:** Em primeiro lugar, nasce do nosso reconhecimento, desde há muito tempo, de que a energia solar fotovoltaica representa uma das fileiras das energias renováveis mais relevantes para Portugal, devido aos níveis de irradiância que se observa no país; no entanto, somente nos últimos anos se tornou num importante vetor estratégico da matriz energética portuguesa.

***Temos consciência de que devido aos diferentes conteúdos abordados, que vão desde uns muito simples e progredindo para conceitos mais complexos e aplicados, esta obra também será bastante útil aos estudantes do ensino secundário, estudantes de alguns cursos profissionais e ainda para muitos profissionais que desenvolvem a sua atividade na área da instalação de sistemas fotovoltaicos.***

Neste contexto, os sistemas fotovoltaicos inserem-se no âmbito do grande desígnio da transição energética que Portugal assumiu em 2016 e que tem por objetivo alcançar a neutralidade carbónica em 2050 através da drástica redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE). Por outro lado, a nossa vasta experiência pedagógica universitária no âmbito da lecionação de diversas unidades curriculares relacionadas com as energias renováveis, permitiu-nos concluir que esta obra é especialmente profícua para os estudantes do ensino superior que frequentem cursos de licenciatura ou de mestrado integrado nas áreas da física, ciências e tecnologias do ambiente, engenharia eletrónica industrial, engenharia mecânica, engenharia civil, engenharia dos materiais, entre outros. Além disso, temos consciência de que devido aos diferentes conteúdos abordados, que vão desde uns muito simples e progredindo para conceitos mais complexos e aplicados, esta obra também será bastante útil aos estudantes do ensino secundário, estudantes de alguns cursos profissionais e ainda para muitos profissionais que desenvolvem a sua atividade na área da instalação de sistemas fotovoltaicos (SFV). Com efeito, esta última constatação, decorre do facto de no passado termos integrado a estrutura societária de uma empresa que operava na área da instalação e comercialização de SFV; neste sentido, sabemos bem da importância e necessidade de existirem livros ou outras produções escritas sobre sistemas fotovoltaicos que possam ajudar os profissionais do sector a adquirirem conhecimentos mais aprofundados sobre esta área científica e tecnológica. Por outro lado, pretendemos desconstruir uma perceção, do senso comum, que considera esta tecnologia de difícil entendimento e por isso inacessível para o cidadão comum.

**rm:** **Que aspetos sobre os sistemas fotovoltaicos nos traz o livro? Há algum capítulo que mereça destaque?**

**A:** Para além dos aspetos de índole mais geral adstritos aos SFV, a obra inclui ainda informação bastante aprofundada sobre materiais semicondutores e as suas principais propriedades optoelectrónicas. Se tivermos que destacar alguns capítulos que mereçam maior ênfase acreditamos que a opção recai sobre o capítulo 6 que apresenta com bastante detalhe as metodologias de cálculo para efetuar o dimensionamento expedito de SFV autónomos, SFV com ligação à rede e de SFV para bombagem de água e também evidenciaríamos o capítulo 7 que apresenta a resolução numérica dos três casos de estudo abordados no capítulo 6.

Por outro lado, o capítulo 3 também apresenta informação relevante já que se refere aos diferentes tipos de células fotovoltaicas; em particular, destacaríamos as células de filme fino de disseleneto de cobre-índio-gálio (do Inglês CIGS - *Copper Indium Gallium Selenide*) ou as células de dióxido de titânio sensibilizadas por corante (do Inglês DSSC - *dye-sensitized solar cells*) que, pelo conteúdo científico e tecnológico que agregam, podem induzir no leitor, especialmente os estudantes do ensino superior; a curiosidade e o gosto pela investigação científica aplicada e por consequência, contribuir para que um modelo sustentado no trinómio que compõe o conhecimento, a inovação tecnológica e a criatividade funcionem como um "gatilho" que

ajude a promover o incremento de empresas de base tecnológica mais competitivas e com maior capacidade de produzirem riqueza para Portugal.

**rm:** Como é que Portugal se tem posicionado na linha da energia fotovoltaica, quando comparado a uma escala global?

**A:** Não obstante o excelente nível de irradiação solar e as boas condições meteorológicas existentes em Portugal constituírem um trunfo nacional face à generalidade dos restantes países europeus, só a partir do ano de 2007 é que o país materializou uma real trajetória no domínio da instalação de sistemas fotovoltaicos visando a produção de eletricidade pela via renovável. Apesar deste tardio despertar, a evolução da capacidade fotovoltaica instalada em Portugal tem sido bastante razoável tal como se mostra na Figura 1, construída com base nas estatísticas da *International Renewable Energy Agency* (IRENA). De acordo com os dados de 2019 referentes à capacidade renovável, a IRENA coloca Portugal no modesto 17.º lugar do ranking dos países europeus (incluindo a UE-28) no que respeita ao valor acumulado de potência fotovoltaica instalada. Com efeito, trata-se de uma posição mediana quando comparada com muitos outros países europeus.

Aparentemente, a partir de 2018 a linha de tendência da **Figura 1** indicia que os valores da potência fotovoltaica instalada em Portugal poderão aumentar significativamente. Na verdade, segundo as estatísticas da *‘Solar Power Europe’* 2019, o valor previsto para o aumento da capacidade fotovoltaica instalada em alguns países europeus no período de 2018-2023 é bastante significativo, conforme se pode observar na **Tabela I**.

A análise à **Tabela I** revela que para o período de 2018-2023, Portugal apresenta um excelente registo já que se afigura como sendo o país europeu que deverá inscrever o segundo maior

País	2018 Capacidade total (MW)	2023 Capacidade total prevista (MW)	2019-2023 Capacidade adicionada (MW)	Perspetivas de apoio político
Alemanha	45920	72611	26691	✓
Espanha	5915	25367	19452	✓
Holanda	4181	20059	15878	✓
França	8920	22259	13339	✓
Itália	19877	29498	9621	✓
Ucrânia	2004	7963	5959	✓
Turquia	5062	10562	5500	x
Portugal	670	4525	3865	✓
Hungria	797	3580	2783	✓
Reino Unido	12962	15674	2712	±
Polónia	464	3139	2675	✓
Irlanda	50	2667	2617	✓
Bélgica	4075	6367	2292	✓
Rússia	518	2770	2252	±
Suíça	2205	4292	2087	✓

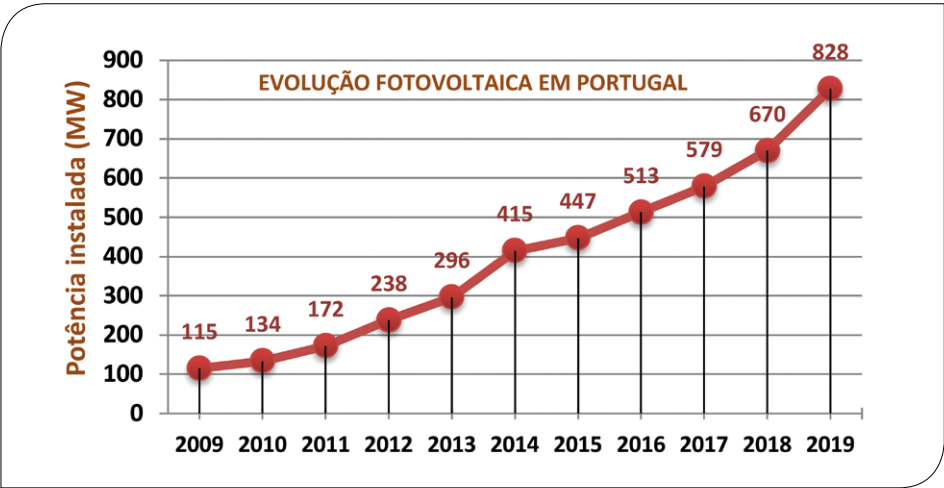
**Tabela I** Capacidade fotovoltaica instalada na Europa. Fonte: Solar Power Europe 2019.

aumento da capacidade fotovoltaica instalada (note-se que em 2023 o valor da capacidade instalada deverá ser cerca de sete vezes maior do que o assinalado para o ano de 2018).

Com efeito, esta análise previsional está muito próxima da realidade pois o plano do atual Governo visa promover para Portugal uma aceleração do investimento na energia solar, usufruindo da crescente redução do custo da tecnologia existente (à base de silício) e por conseguinte viabilizar investimentos de grande escala sem que haja a necessidade de se recorrer à estratégia das tarifas vantajosamente subsidiadas, tal como aconteceu no passado com as primeiras centrais solares (à semelhança, também, do que ocorreu para a geração eólica existente em Portugal).

Na verdade, importa recordar que em julho de 2019 Portugal abalou o mercado mundial ao adjudicar em leilão 1292 MW (aquém dos 1400 MW inicialmente planeados) onde participaram 64 empresas; os grandes vencedores foram a espanhola Iberdrola e a francesa Total Solar que conseguiram uma boa parte dos projetos a que se tinham candidatado. O preço com que Portugal fechou este leilão solar fotovoltaico foi de cerca de 0,02€/kWh (sensivelmente metade do preço do Mercado Ibérico de Eletricidade)<sup>1</sup> o que contribui para que o país esteja a ser tido como um excelente exemplo. Com efeito, este tipo de leilões permite que o país tenha maior capacidade para atrair investimentos de valores muito avultados com o intuito de se desenvolverem infraestruturas produtivas dando como contrapartida contratos estáveis garantindo assim o retorno do investimento. Ainda durante o terceiro trimestre deste ano o país deverá assistir a um segundo leilão de energia solar, que deverá licenciar cerca de 700 MW (concentrados no Alentejo e Algarve) de nova capacidade renovável, a somar aos 1292 MW já adjudicados no leilão de julho do ano passado.

Segundo as declarações do Ministro do Ambiente proferidas durante a inauguração do Parque Solar Fotovoltaico na Base Aérea nº5 de Monte Real, a procura do novo leilão solar previsto para o final do mês de agosto foi 10 vezes superior à oferta, superando assim todas as expectativas, pelo que atesta inequivocamente



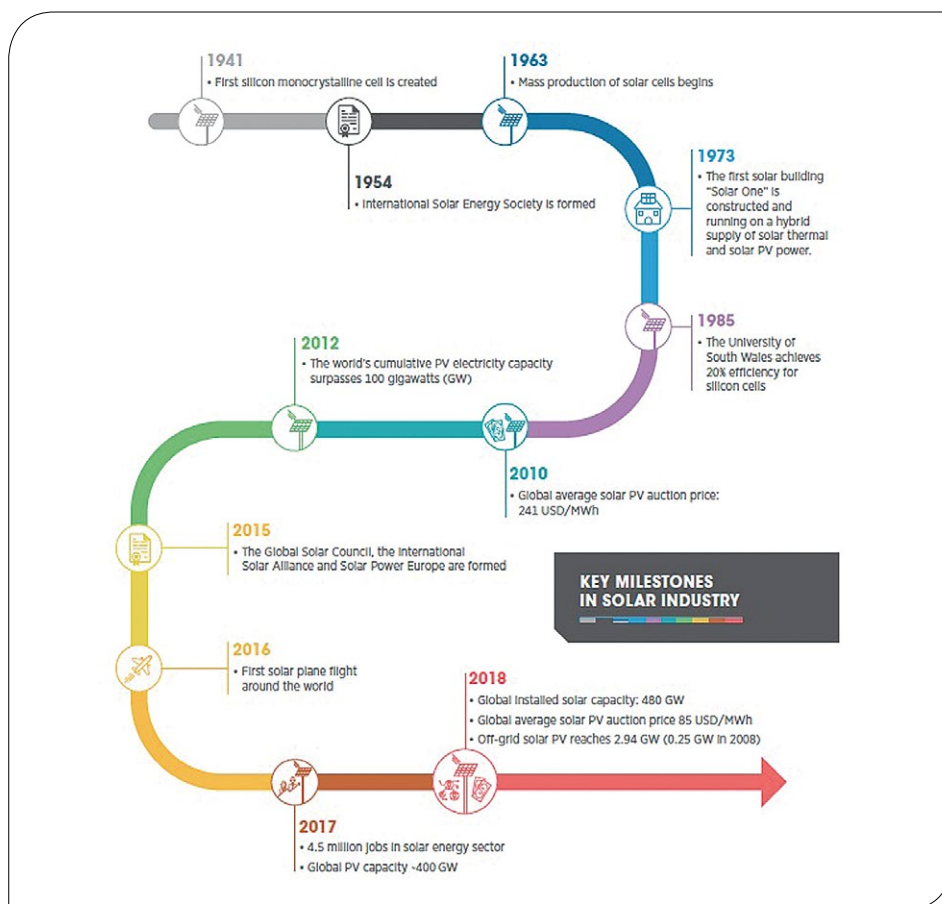
**Figura 1** Evolução da potência fotovoltaica instalada em Portugal (Fonte: dados IRENA 2019).

<sup>1</sup> Fonte: Expresso/economia, 29 de julho de 2019

o interesse estratégico que a fileira fotovoltaica representa para Portugal. Com efeito, é no sector das energias renováveis (onde se insere a energia fotovoltaica) que se espera o maior contributo para o desafio da transição energética que passa pela implementação de políticas ativas conducentes a um verdadeiro processo de descarbonização e de um novo paradigma para o *mix* energético nacional com a expectativa de que os preços das tarifas possam diminuir.

**rm:** Que tendências são visíveis no desenvolvimento desta indústria?

**A:** É espectacular que na próxima década o peso da indústria solar fotovoltaica no *mix* energético mundial continue a crescer na medida em que deverá ser impulsionada favoravelmente por um conjunto de diversos fatores. Entre eles, e talvez um dos mais importantes, consiste em saber se, em matéria de energia, as estratégias políticas traçadas pelos diferentes governos nacionais são ou não verdadeiramente favoráveis ao conceito de desenvolvimento sustentável. Na verdade, durante as últimas décadas o modelo de crescimento económico mundial tem gerado enormes desequilíbrios. Com efeito, se por um lado a capacidade de gerar riqueza tem aumentado a nível mundial, por outro, a pobreza, a degradação ambiental e a poluição dos ecossistemas também tem crescido significativamente. Infelizmente, durante os últimos anos, muitos dos países mais desenvolvidos têm adotado como modelo energético aquele que utiliza maioritariamente a energia proveniente de fontes fósseis, designadamente o carvão, o petróleo e o gás natural para a geração de energia elétrica e de calor. Neste domínio, Portugal ainda tem uma enorme dependência externa, em termos de energia primária, que é manifestamente superior à da média da União Europeia. Contudo, na ótica de um conceito de desenvolvimento sustentável, este modelo energético não é defensável já que para além de utilizar recursos limitados, a sua intensa utilização provoca severas agressões ambientais. Neste sentido, se o desígnio do país passar pela implementação de políticas conducentes à transição energética, com o objetivo de alcançar uma significativa redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE), então a aposta nas energias renováveis (onde a energia fotovoltaica constitui uma das suas fileiras) traduz-se no maior contributo para a década 2021-2030 no que respeita à redução de emissões, onde a transição energética desempenha uma função determinante no processo que induz a transformação para uma sociedade pautada pela neutralidade carbónica (balanço neutro em termos de emissões/captação de GEE). Ora, Portugal assumiu em 2016 o objetivo de alcançar a neutralidade carbónica em 2050. As estratégias para a consecução deste objetivo estão plasmadas no Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050.



**Figura 2** Principais marcos alcançados pela indústria solar fotovoltaica (Fonte: IRENA 2019).

Desta forma, existem atualmente em Portugal opções políticas e tecnológicas manifestamente favoráveis ao crescimento de diferentes fontes de energia renovável pelo que, antevê-se que a fileira fotovoltaica venha a assumir um papel ainda mais relevante no panorama nacional dado o enorme recurso solar que o país tem ao seu dispor. Relembre-se que Portugal assumiu com a Comissão Europeia o compromisso de alcançar a meta de 47% de energia de fonte renovável no consumo final bruto de energia até ao ano de 2030. Na verdade, a evolução da indústria fotovoltaica tem sido verdadeiramente notável tendo nos últimos anos, alcançado diversas metas em termos de instalações (incluindo as não ligadas à rede), reduções de custos e progressos tecnológicos muito significativos (ver **Figura 2**).

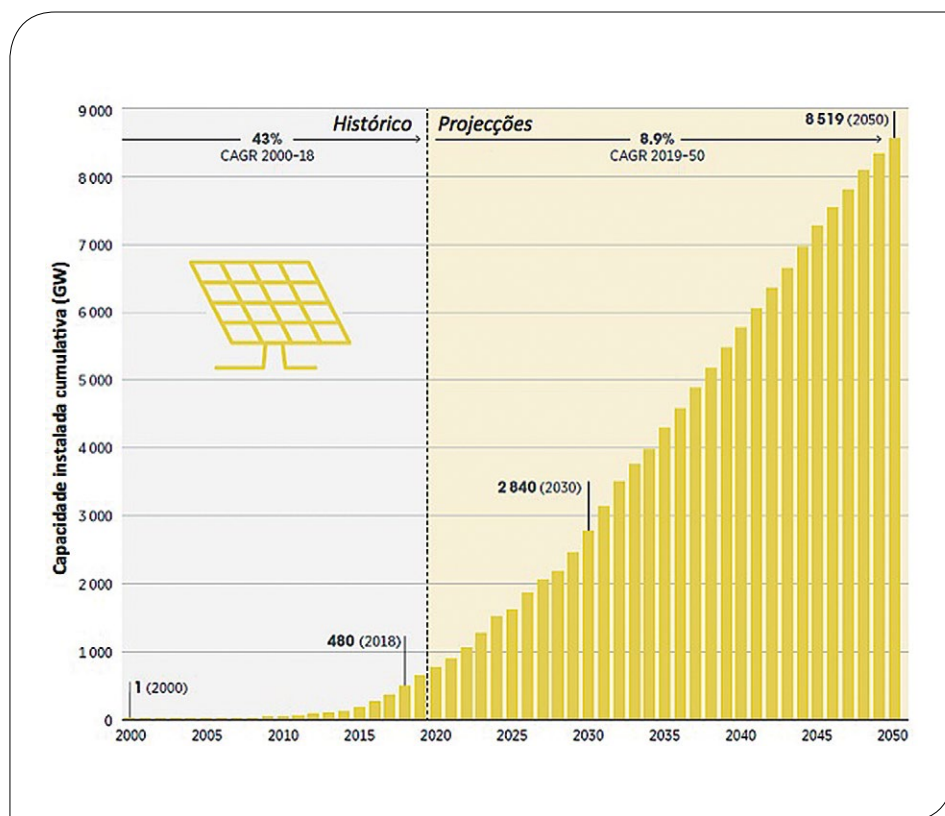
A fileira do solar fotovoltaico tem-se revelado como uma das tecnologias renováveis mais inovadoras ao longo das últimas décadas. No final de 2018, a capacidade global instalada de potência fotovoltaica atingiu o valor de 480 GW, representando a segunda maior fonte de geração elétrica renovável, logo após a fileira do eólico. No último ano, o solar fotovoltaico voltou a dominar o aumento de capacidade instalada de origem renovável (cerca de 94 GW) tendo este aumento correspondido sensivelmente ao

dobro do aumento registado para a geração eólica e também superior ao aumento verificado para o conjunto de todos os combustíveis fósseis e nucleares (fonte: IRENA, 2019c).

Considerando a ampla disponibilidade de recursos, o significativo potencial de mercado e competitividade dos custos, antevê-se que durante a próxima década a energia solar fotovoltaica deva atuar como o principal "motor" impulsionador para o crescimento geral das energias renováveis em várias partes do mundo. Tomando como ponto de partida os atuais valores da capacidade instalada cumulativa, a análise da IRENA (**Figura 3**) mostra que as instalações de energia solar fotovoltaica podem crescer quase seis vezes nos próximos dez anos, atingindo globalmente uma capacidade instalada cumulativa de 2840 GW no ano de 2030 e que poderá aumentar para 8519 GW em 2050<sup>2</sup>. Tal significa que em 2050 a capacidade fotovoltaica instalada será quase 18 vezes maior do que a existente em 2018.

2. A capacidade fotovoltaica instalada inclui os grandes centros electroprodutores (60–80%) e os sistemas distribuídos (40–20%) tipicamente colocados sobre as coberturas dos edifícios.





**Figura 3** Evolução no tempo da capacidade fotovoltaica instalada. Em comparação com os valores de 2018, a capacidade solar fotovoltaica cumulativa deverá sextuplicar até 2030, com uma taxa de crescimento anual composta (do Inglês, Compound Annual Growth Rate – CAGR) aproximadamente igual a 9% até 2050 (Fonte: IRENA 2019).

Embora os projectos de larga escala (grandes centros electroprodutores) ainda sejam os predominantes em 2050, a IRENA estima que as instalações solares fotovoltaicas distribuídas cresçam muito mais rapidamente, já que deverão ser fortemente impulsionadas por políticas e medidas de apoio públicas que respondam à maior sensibilidade ambiental dos consumidores e, por conseguinte, despoletando uma maior adesão à utilização desta forma de energia limpa por um número muito mais alargado de actores económicos e sociais.

**rm: Quais os fatores que mais afetam o crescimento do mercado neste setor?**

**A:** Para além dos fatores relacionados com as diferentes opções políticas existem outras variáveis de natureza mais técnica, económica e social que afetam o crescimento da indústria fotovoltaica. Com efeito, os custos de produção tendencialmente muito mais baixos, inovação mais acelerada, consumidores mais inteligentes e uma maior consciencialização sobre a temática relacionada com o fenómeno do aquecimento global constituem alguns dos aspetos que estão diretamente relacionados com as tendências deste mercado e que podem impulsionar o desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos para os próximos anos.

**rm: Como é que avaliam o impacto da Covid-19 na indústria de sistemas fotovoltaicos?**

**A:** Devido às inúmeras medidas restritivas que todos os governos europeus/mundiais implementaram desde março deste ano e que decorreram do estado pandémico instalado à escala global provocado pela Covid-19, quase todas as atividades económicas foram obrigadas a parar e, por conseguinte, sentiram um impacto fortemente negativo (no entanto umas mais do que outras).

No âmbito da indústria solar fotovoltaica, é mais do que provável que surjam atrasos de curto prazo na conclusão de determinados projetos e que se devem não só a dificuldades de fornecimento de materiais, mas também à desaceleração da procura decorrente do bloqueio europeu. Por exemplo, em Portugal, os 24 lotes que saíram do leilão de 2019 têm um prazo de 36 meses para a sua conclusão. No entanto, esta prazo dificilmente será cumprido até por razões relacionadas com as opções de financiamento previsto nos acordos iniciais. Na verdade, a Associação Portuguesa de Energias Renováveis (APREN), defende que as empresas que venceram lotes no primeiro leilão de energia solar em 2019 devem ter mais tempo (propondo cerca de seis meses) para estas possam concluir os seus projetos.

Ainda assim, o Governo português reconhece a importância das metas consignadas no Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030) e aparenta estar empenhado no seu cabal cumprimento, pelo que afirma estar comprometido em promover a expansão das energias renováveis, onde a fileira do solar fotovoltaico merece ser realçada devido ao próximo leilão solar (700 MW) previsto para o terceiro trimestre deste ano.

Com efeito, não obstante o impacto negativo da Covid-19, é espetável que no médio e longo prazo, o sector do fotovoltaico venha a ter uma rápida recuperação, principalmente se as ambições e metas transnacionais para a energia e clima forem preservadas. Neste caso, é essencial que o compromisso com o "European Green Deal" seja mantido a fim de se alcançar a neutralidade carbónica em 2050. Por enquanto, é importante que a nível europeu os diferentes estados-membros sejam capazes de garantir que, quaisquer que sejam os pacotes de estímulos europeus, estes devam privilegiar as tecnologias de energias limpas fazendo da energia solar a verdadeira alavanca para promover a transição para um novo modelo socioeconómico que seja climaticamente neutro, resiliente, sustentável e inclusivo. Trata-se de um conceito que se denomina por 'Green Recovery' ou recuperação verde, que constitui uma via muito importante para a recuperação da economia e do emprego, uma visão com a qual Portugal deverá estar fortemente empenhado e comprometido. Neste sentido, e de forma paradoxal, a pandemia provocada pelo Covid-19 até pode ser a grande oportunidade para se materializar este grande desígnio quer por via de sistemas ligados à rede, quer por sistemas autónomos.

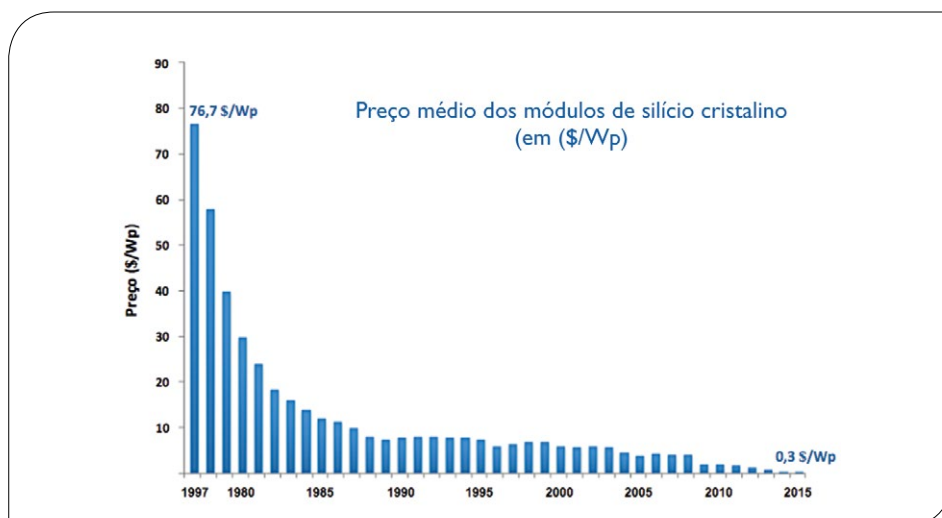
**rm: Que perspectivas se conjeturam para o futuro do mercado de sistemas fotovoltaicos?**

**A:** O desenvolvimento da energia solar fotovoltaica e por consequência do mercado dos sistemas fotovoltaicos ainda necessita de apoios e subsídios dos diversos governos nacionais e que em linguagem anglo-saxónica é conhecido por *feed-in-tariff* (FiT). Na verdade, o FiT corresponde ao pagamento atribuído às empresas ou cidadãos individuais que geram a sua própria eletricidade por meio de métodos que não contribuam para o esgotamento dos recursos naturais e que é proporcional à quantidade de energia gerada. Esta política de subsidiação foi a grande responsável pela rápida expansão da energia solar fotovoltaica na China, Alemanha e em muitos outros países, incluindo Portugal. No entanto, mais recentemente, os diversos governos começaram a diminuir drasticamente os montantes destes subsídios. Por exemplo, quando comparado a 2016, a China já reduziu a sua tarifa em cerca de 45% e a Alemanha também optou por estes cortes, no entanto

mais dirigidos às instalações domésticas (tipicamente para os sistemas FV colocados sobre a cobertura dos edifícios com potências 40 a 750 kW). Esta mudança de política governamental deve-se sobretudo à forte diminuição nos custos dos sistemas fotovoltaicos. Com efeito, o preço médio dos módulos de silício cristalino (incluindo mono-/poly-Si) tem descido muito acentuadamente desde em 1977 onde o valor era de 76,67 \$/Wp até aproximadamente 0,30\$/Wp em 2015, conforme mostrado na **Figura 4**.

No entanto, de acordo com os últimos dados registados para o mercado europeu em junho de 2020, o preço médio dos módulos de silício cristalino era já de 0,25 \$/Wp. Esta tendência segue a denominada “*lei de Swanson*”, uma previsão semelhante à conhecida Lei de Moore, que estabelece que os preços dos módulos fotovoltaicos descem cerca de 20% sempre que seja duplicada a capacidade da indústria fotovoltaica.

Importa realçar um aspeto importante e que se refere a uma medida que tem vindo a ser tomada por muitos governos à escala global e que se tem pautado pelo aumento tendencial do preço da energia elétrica; na Europa, o preço da eletricidade doméstica aumentou ligeiramente



**Figura 4** Evolução do preço médio dos módulos de silício cristalino (incluindo mono-/poly-Si) (em \$/Wp) entre 1977 e 2015 (Fonte: Bloomberg New Energy Finance).

durante a última década. Deste modo, o cenário caracterizado por um aumento do preço da eletricidade associado à diminuição dos subsídios governamentais, determina a que os potenciais

investidores da fileira fotovoltaica prestem cada vez mais atenção ao denominado Custo Nivelado da Energia (do Inglês, *Levelized Cost of Energy* – LCOE). Com efeito, graças à diminuição

dos preços dos módulos fotovoltaicos combinado com o correspondente aumento da sua eficiência, é espectável que ao longo do ano de 2020 o índice LCOE venha a ser inferior ao do carvão, pelo que estarão reunidas condições bastante favoráveis para que se venha a registar uma tendência para um crescente investimento neste mercado.

No entanto, o crescimento do mercado da indústria fotovoltaica depende em grande parte da redução dos custos associados ao conjunto de todos os componentes (excetuando os módulos FV) que integram o sistema fotovoltaico, os denominados BoS (do Inglês, *balance of system*). Na verdade, os BoS agregam a maior parte dos custos totais do sistema FV instalado e são também aqueles que se afiguram com o maior potencial de redução de custos. Uma forma de alcançar este objetivo, deverá mobilizar todos

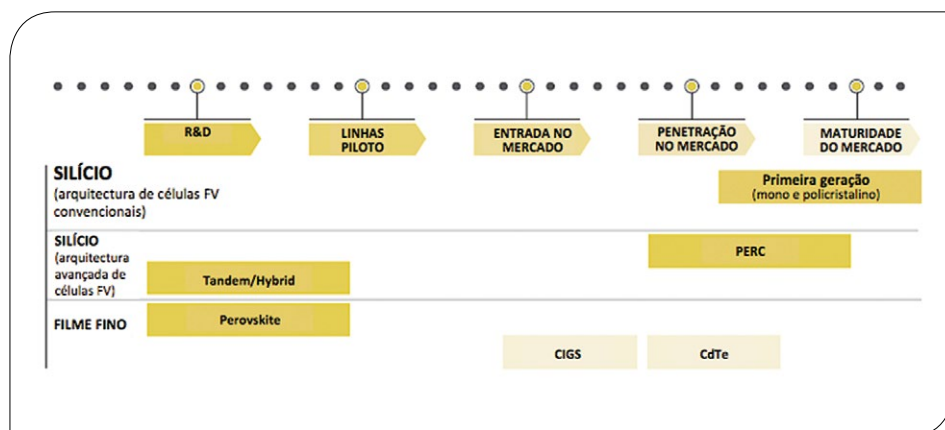
os atores que realizam investigação científica e desenvolvimento (I&D) nas universidades e empresas que, por consequência, determinam uma mudança na tecnologia da indústria solar fotovoltaica. Esta mudança passa pela utilização de materiais mais baratos visando a fabricação das células FV (e utilização de menores quantidades de material) e, por conseguinte, reduzindo os seus custos de fabricação e aumentando os seus índices de eficiência. É espectável que uma grande variedade de tecnologias continue a integrar o portfólio de tecnologias FV. A **Figura 5** apresenta uma visão geral do estado de maturação das tecnologias fotovoltaicas no mercado global.

Com efeito, as tecnologias de primeira geração (baseadas na arquitetura de células convencionais de silício) ainda detêm cerca de 90% de participação na produção mundial fotovoltaica (Fraunhofer ISE, 2019). A contínua

redução de custos das células de silício cristalino (determinando assim uma fortíssima posição competitiva no mercado) tem dificultado bastante a penetração e afirmação no mercado de outras tecnologias. Neste contexto, as células PERC (do Inglês, *passivated emitter rear contact cells*) constituem uma das arquiteturas avançadas de células FV de silício mais promissoras na medida em que são aquelas que aos dias de hoje se afiguram como as grandes candidatas à substituição das células convencionais de silício. No que concerne à sua constituição, uma célula PERC não é muito diferente da de uma célula típica de silício monocristalino; na verdade, a principal diferença (melhoria) consiste na inclusão de uma camada de passivação (dielétrico) na superfície posterior da célula sendo capaz de aumentar a sua eficiência (Shravan, K. e Chunduri, K., 2018). Na verdade, a camada de passivação melhora a eficiência global da célula através de três maneiras principais: 1) reduz a velocidade de recombinação dos pares elétron-lacuna; 2) aumenta a absorção de luz; e 3) aumenta a reflexão interna, ou seja aumenta a reflexão da luz na base da célula, fazendo com que os raios solares passem mais vezes pelo silício, aumentando assim a captação de radiação solar (Marsh, J., 2018). Para as células monocristalinas, o aumento de eficiência que advém da implementação da arquitetura PERC varia entre 0,8% a 1%, enquanto que para células policristalinas, o aumento é um pouco menor, ou seja, entre 0,4% a 0,8% (Shravan, K. e Chunduri, K., 2018). A **Figura 6** compara esquematicamente as arquiteturas das células de silício convencionais com a arquitetura da célula PERC.

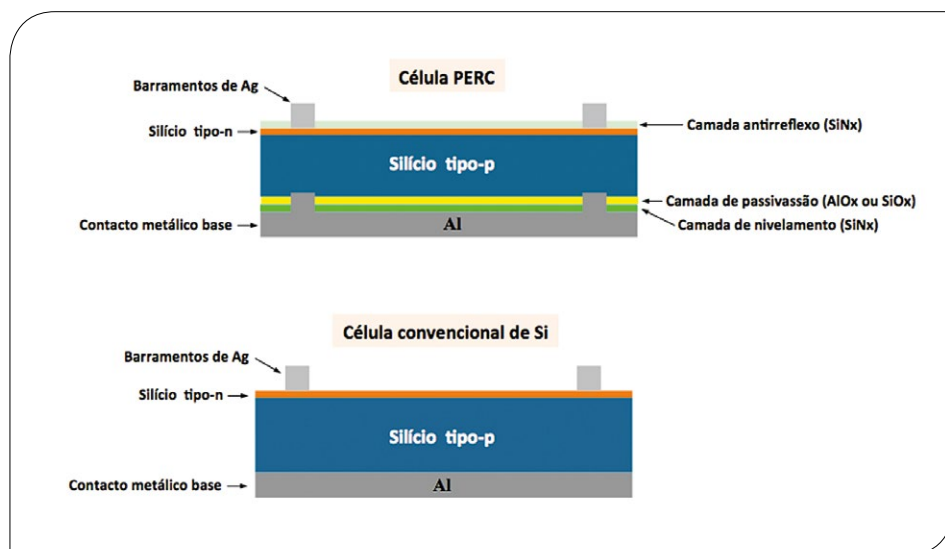
Segundo a WisolPro (uma consultora sediada em Taiwan), a produção global de células PERC está a aumentar muito acentuadamente, pelo que este tipo de tecnologia irá provavelmente substituir muito rapidamente as células de silício policristalino. Com efeito, através da informação veiculada num dos seus relatórios, a WisolPro assegura que a procura global do mercado pelas células PERC chegará a valores da ordem de 158 GW em 2022, contra os 52 GW ocorridos em 2018. De acordo com as suas mais recentes previsões, esta consultora estima que a quota de participação no mercado da tecnologia PERC atingirá o pico em 2022 e que posteriormente tenderá a estabilizar. Nessa altura, a tecnologia PERC deverá garantir uma quota global no mercado da ordem de 70% o que é um valor absolutamente notável; em sentido contrário deverá evoluir a tecnologia convencional das células de silício.

Entretanto, as tecnologias de filme fino (maioritariamente as tecnologias CIGS, CdTe e Perovskite) e Tandem/Hybrid também deverão aumentar a sua participação no mercado até 2022, embora com crescimentos muito inferiores aos das células PERC [\[m\]](#)



**Figura 5** Estado da tecnologia solar fotovoltaica (Fonte: IRENA 2019).

**Nota:** CIGS = disseleneto de cobre-índio-gálio; CdTe = telureto de cádmio; PERC = *passivated emitter rear contact cells*



**Figura 6.** Diferença entre a arquitetura de uma célula convencional de silício e de uma célula PERC. (adaptado de: Jan Schmidt, Boris Veith, Florian Werner, Dimitri Zielke, and Rolf Brendel, “Silicon surface passivation by ultrathin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiNx stacks”, Conferência PaperinConference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference · julho 2010).